



跳躍眼球運動時の視野統合過程における位置情報の許容度*

石田泰一郎・池田 光男

京都大学工学部建築学教室 〒606-01 京都市左京区吉田本町

(1993年3月11日受付, 1993年7月7日受理)

Tolerance of Spatial Location in Integrating Visual Information across Saccadic Eye Movements

Taiichiro ISHIDA and Mitsuo IKEDA

School of Architecture, Faculty of Engineering, Kyoto University,
Sakyo-ku, Kyoto, 606-01

(Received March 11, 1993; Accepted July 7, 1993)

To perceive an external world as stable, visual information from successive fixations must be somehow integrated into a coherent internal representation of the world. We examined the tolerance of location information involved in such an integrating process across saccades. In the experiment, subjects observed a picture of an actual scene, while the picture was displaced in either the same or opposite direction as each saccade with a certain ratio to the saccadic size. The threshold displacement ratio (i. e., the size of scene displacement/the size of saccade) that allowed subjects to perceive the stable scene was measured using constant stimuli method. The results showed that subjects perceived the scene as stable when the scene was displaced up to 20% of the saccadic size. It was also found that the scene displacement with the saccade was more noticeable than that against the saccade.

1. はじめに

視覚系に入力される情報の基礎は網膜に映じた外界の像である。ただし、この網膜像は跳躍眼球運動によって頻繁に変化している。すなわち、跳躍が生じている間、網膜上で外界の像は急速に流れ、しかも跳躍前後では異なった外界の領域が、網膜上に像を結んでいることになる。しかしながら、通常、われわれが知覚する外界は連続で安定した世界である。普段、盛んに眼球を動かしているときでも、われわれは視野全体のちらつきや、外界の物体の空間的な配置などの変化を知覚することはない。視点を移したときわれわれが意識できる変化は、どの対象を見ているかということであり、新たに視点を移した対象は、はっきりと明確に見ることができ、今まで見ていた対象は視点からはずれ、ぼやけることになる。

このような跳躍時の視野の安定を実現するためには、視覚系は次のような処理を行う必要がある。まず第一に、跳躍中の急速な網膜像の変化が知覚されないように処理されなくてはならない。そして第二に、跳躍前に視覚系内で保持されていた視覚情報と、跳躍後に得られた新たな視覚情報を、整合的に統合する処理が必要である。

第一の処理に関しては、跳躍時抑制という現象が数多くの研究によって明らかにされている。この機構により跳躍中の視覚情報は抑制あるいは除去され、最終的には知覚されないように処理されていると考えられている¹⁻⁴⁾。第二番目の跳躍時の視覚情報の整合的な統合の問題に関しても、これまで多くの研究がなされてきた⁵⁻¹²⁾。しかしながら、この機構がどのようなものであるのか未だ十分には解明されていない。この、跳躍前後の視覚情報の統合過程を解明するためには、統合がどのような特性をもって行われているのか、詳しく調べる必要があるとなる。

* この研究は、東京工業大学総合理工学研究科において行われたものである。

そこで本研究では、跳躍眼球運動前後における視覚情報の統合過程において、対象物の位置情報がどの程度正確に保持され、統合されているのか、という問題に焦点をあてた。跳躍時の視覚情報統合過程において、対象物の位置情報がある程度不正確であっても、整合的に視覚情報を統合できる（すなわち、眼を動かしたときに対象物の動きなどを感じない）とすれば、跳躍が生じている間に、被験者が観察している画像の位置に、ある大きさの変位を与えたとしても、被験者はその変位を知覚しないことが予想できる。実際、刺激変位が跳躍中に生じた場合、注視時に変位が生じたときに比べて、その検出閾がかなり大きくなるのが、過去の研究で示されている¹³⁻¹⁷⁾。例えば、われわれが以前行った実験¹⁷⁾では、被験者に現実の光景スライドを自由に観察してもらい、跳躍が生じるたびに、光景の位置を水平方向に一定量変位させた。その結果、被験者が光景を静止したものとして知覚できる変位量の閾値は、視角にして約 1° という値となった。この実験で、注視時に光景を変位させた条件での閾値は 0.1° 以下であり、それと比べると跳躍時の閾値はかなり大きく、跳躍時には位置情報の処理において大きな許容度が存在することが示された。

ただし以前のわれわれの研究では、光景の変位は跳躍眼球運動の大きさ・方向とは関係なく、水平方向に一定量であった。したがって、視覚情報の統合過程における位置情報の許容度が、眼球運動との相対的な大きさや方向に関係するかどうか、という問題については確認できていない。この問題を明らかにするためには、光景の変位を眼球運動に対して相対的に設定できる条件での実験が必要となる。そこで本研究では、実際の光景（スライド写真）を被験者が自由に観察している状態において、光景全体の変位の大きさ・方向を、跳躍眼球運動の大きさ・方向に対して相対的に設定できる実験装置を開発し、以前の研究課題をより一般的に発展させた研究を行った。これにより、跳躍時の視野の統合過程における対象物の位置情報の許容度を、眼球運動の大きさ、方向との関係において明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 方法概要

本研究では、被験者がスライド写真による現実の光景を自由に観察している間、跳躍眼球運動が生じるたびに、跳躍の大きさと方向に応じて光景の位置を変位させる。光景の変位量は跳躍の大きさに対してある比率（変位比）をもった量に設定する。また、光景の変位方向は、

跳躍の方向に対して、同じ方向、反対方向、不定方向の3条件を設定する。つまり光景は、各跳躍眼球運動に対して相対的な大きさと、方向で変位することになる。そして、各変位方向条件に対して、光景が静止したものとして知覚される変位比の閾値を測定する。例えば、被験者の跳躍と同じ方向に、跳躍の大きさに対して 10% だけ光景全体を変位させる操作を、各跳躍に対して行うのである。被験者は自由に眼を動かすので、光景の変位の大きさ・方向は、各々の跳躍に対応したものとなる。このような実験において、光景の変位量が跳躍の大きさに対して十分小さいときは、被験者は光景を静止したものとして知覚できると予想される。そして光景の変位比を徐々に大きくしていくと、被験者はある段階で光景中に何らかの変化を知覚するようになると考えられる。この光景変位による変化の検出閾を、跳躍時の視野統合過程における位置情報の許容度として、変位方向の各条件に対して定量的に測定する。

2.2 装置

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。本実験の装置では、光景全体の位置を跳躍眼球運動が生じる度に、跳躍の大きさ・方向に応じて変位させる必要があり、装置製作においても最も工夫を要する点である。

まず、被験者の眼球運動の測定は角膜表面からの反射光を検出する方法によって行った。被験者は歯形を噛むことによって頭部の位置を固定する。ハロゲンランプ (LS) からの光を赤外線フィルター (F) を通した後、被験者の右眼に照射し、角膜表面からの反射光を半導体位置検出素子 (PSD) 上に結像させる。PSD からは受光面に入射している光の強度分布に応じた電流が、水平方向、垂直方向独立に取り出すことができるので、それらの信号を増幅することによって、被験者の眼球の位置の水平成分、垂直成分を示す信号が得られる。そして、この眼球運動の信号をアナログ回路で微分し、跳躍眼球運動の発生を検出する。この装置で跳躍眼球運動の検出の遅れ時間は約 5 ms、また眼球位置検出の空間的な精度は $\pm 1^\circ$ 程度であった。

刺激となる光景はプロジェクター (PRO) によってスクリーン (SC) 上に後方から投影させる。被験者は直径 28° の円形の視野を与える光学系を通してスクリーンを観察する。刺激観察のための光学系には、焦点距離の等しい二枚のレンズ (L_1, L_2) を平行に配置しており、その間隔は焦点距離の和に等しくしてある。このレンズ系の一方の焦点に被験者の左眼が位置するように歯形台の位置を調節し、もう一方の焦点近傍には、1.5 cm 角の正

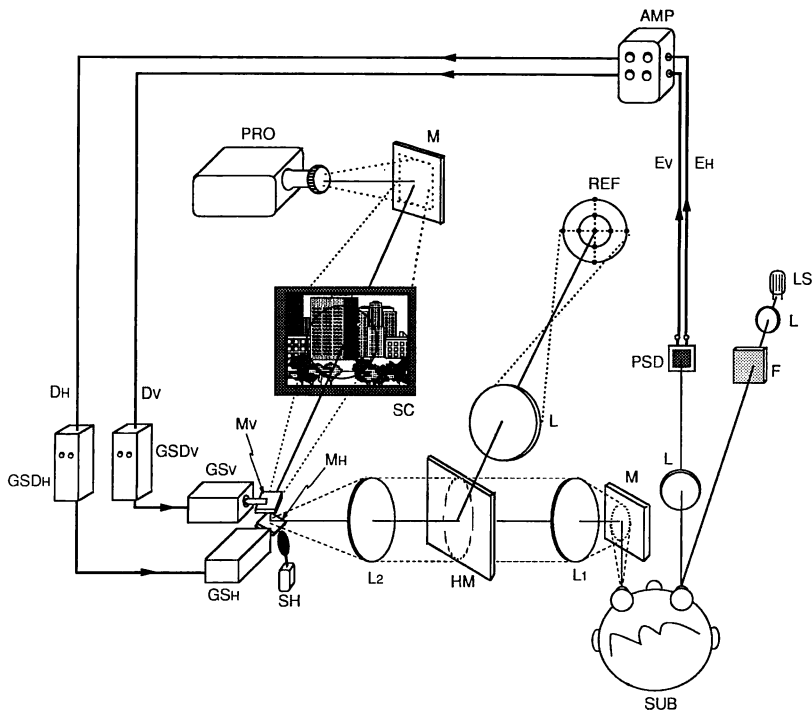


Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus. AMP, amplifier; E_H , E_V , eye position signal; F, infrared filter; G_S_H , G_S_V , galvanometer scanner; $G_S_D_H$, $G_S_D_V$, galvanometer driver; HM, half mirror; L, lens; LS, light source; M, mirror; M_H , M_V , rotating mirror; PRO, projector; PSD position sensitive detector; REF, reference pattern; SC, screen; SH, shutter; SUB, subject.

方形の二枚のミラー (M_H , M_V) を設置する。これらのミラーはそれぞれレンズ系の光軸に対して垂直に設置されたガルバノメータ (G_S_H , G_S_V : General Scanning 社, G 325 D) の回転軸に固定しており、バルバノメータ駆動制御装置 ($G_S_D_H$, $G_S_D_V$: 日本テレコム社, MmPIC-20 A) にアナログ電圧信号を入力することによって、軸の回りで回転させることが可能となっている。このような配置でミラー M_H , M_V を回転させると、被験者にはレンズ系による視野の窓を通して、光景が変位しているのが観察される。ミラー M_H の回転で光景の水平方向の変位、ミラー M_V の回転で垂直方向の変位を実現している。この回転によって、観察される像の大きさの変化、形の歪みなどは生じない。また、このミラーの回転によっては、レンズ系による視野の外枠の位置は動かない。

入力信号に対するガルバノメータの応答の記録を **Fig. 2** に示す。上側の記録が眼球運動の記録であり、1回の跳躍時の眼球位置の時間変化を示している。下側の記録は、その眼球運動の信号を入力したときの、ガルバノメータの応答、すなわちミラーの角度変化を示した記録である。この記録はガルバノメータ内部に組み込ま

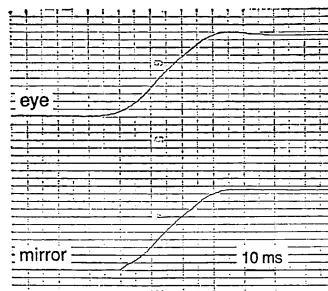


Fig. 2 An example of a saccadic eye movement (upper record) and rotation of the mirror (lower record).

れている回転軸の角度を検出するセンサーの出力より得られたものであり、実際のミラーの角度変化を表していることになる。これらの記録を見てわかるように、本実験で用いたガルバノメータは跳躍眼球運動時の急速な入力信号の変化に対して、十分追従する性能を有している。

さて、実験の目的である被験者の眼球運動の大きさ・方向に応じた光景の変位を実現するためには、ガルバノ

メータに眼球運動検出器からの信号を入力し、眼球運動に対応してミラーが回転するように設定しておけばよい。そのためのガルバノメータの動作の校正と、眼球運動検出器の調整を、次のような手順で行った。

まず、校正の基準となる基準座標 (REF) を呈示する。この基準座標の中心は被験者が観察する視野と中心が一致している。次に水平・垂直変位用のそれぞれのガルバノメータに $0V$ 、 $\pm 10V$ の外部信号を順次入力したときに、スライド写真の中心点が基準座標点の中心点、および左右上下の基準点と一致した位置まで変位して見えるように、駆動装置のゲインとゼロ点を調節する。また、眼球運動検出器は、被験者が中心の基準点を固視しているときに、水平・垂直ともに $0V$ 、左右上下の基準点を固視したときに、それぞれ $\pm 10V$ となるように調節する。この設定状態で、眼球運動の信号をガルバノメータに直接入力すれば、ミラーは眼球の動きに同期して回転し、スライドの光景は被験者の視点の移動と一致して変位することになる。さらに、ある比率 k で減衰した眼球運動の信号をガルバノメータ駆動装置への入力信号とすれば、光景の変位量は視点の変位量に対して k 倍となる。これで眼球運動の大きさに対して、ある比率で光景を変位させることが可能となる。眼球運動検出器の調整は毎実験ごとに行うが、ガルバノ駆動制御装置の調整は一度行っておけばよい。

次に跳躍眼球運動の方向と光景の変位方向の相対関係は、眼球位置の水平・垂直成分の信号と、光景の水平・垂直変位用のガルバノメータとの入力の対応関係を切り替えることによって容易に実現できる。眼球位置の水平・垂直成分の信号をそれぞれ E_H 、 E_V とし、水平・垂直変位用のガルバノメータに対する入力信号をそれぞれ G_H 、 G_V 、また光景の変位比を k とすると、ガルバノメータと入力信号の対応関係は、光景変位の3条件について、

- ・同方向 (same): $G_H = +kE_H$, $G_V = +kE_V$
- ・逆方向 (opposite): $G_H = -kE_H$, $G_V = -kE_V$
- ・不定方向 (unfixed): $G_H = -kE_H$, $G_V = +kE_V$ or
 $G_H = +kE_H$, $G_V = -kE_V$

とすればよい。すなわち、光景を跳躍に対して同方向に変位させるときは、水平・垂直の眼球運動の信号を k 倍して、そのまま水平・垂直変位用のガルバノメータに入力し、跳躍に対して逆方向へ変位させる場合は、眼球運動の信号を正負反転させて入力すればよい。また眼球運動の信号のどちらか一方を正負反転させて入力すれば、跳躍の方向に応じて、跳躍と光景の相対的な変位方向

は、さまざまな方向に設定されることになる。

実際の実験では、被験者の跳躍眼球運動が検出されている間、眼球運動の信号がガルバノメータにフィードバックされ、光景が変位する。跳躍の完了が検出されると、ガルバノメータへの入力信号は跳躍完了時の値で一定となるようにし、注視中はミラーを停止状態にする。これは、注視時にも眼球運動の信号をそのままフィードバックし続ければ、眼球運動検出器の出力に含まれる微小ノイズによって、ガルバノミラーがわずかに振動し、被験者が光景の小刻みな振動を知覚することになるからである。

2.3 刺 激

実験には現実の光景を写した 35mm のカラーズライド 30 枚を用いた。これらの光景には、自然の風景、街並み、大学キャンパス、建築物、人物など、できるだけ多様なものを用意した。被験者は左目で、レンズ系を通して、スライド写真が投影されているスクリーンを観察する。観察視野は直径 28° の円形である。なお、右眼には眼球運動検出用の暗赤色光が視野の周辺部から照射されているが、それ以外は暗黒にしてある。実験中には、眼球運動検出用の光によって、光景の観察が妨げられることはない。

2.4 手 順

実験では恒常法を用いて、跳躍眼球運動時の光景変位によって光景中に生じた変化の検出閾値を、光景の変位比 k を変数として測定する。また、光景変位方向の条件は、跳躍眼球運動と同方向 (same)、跳躍と逆方向 (opposite)、および跳躍に対して不定方向 (unfixed) の3条件である。なお、不定方向の条件を設定することによって、光景の変位方向に依存しない許容度を測定するとともに、実験において、被験者に光景の変位方向に対するバイアスを与えない効果を期待した。恒常法の測定で変数となる変位比 k は $5\sim 35\%$ まで、 5% おきに 7 とおり設定した。実験開始前には、基準座標を用いて、所定の出力が得られるように眼球運動検出器を調整する。また実験中も眼球運動検出器は定期的に調整する。各試行の前に実験者は光景の変位方向と、光景の変位比 k の二つを設定する。試行開始の準備が完了すると、実験者は被験者に合図を送り、被験者が手元のボタンを押すことによって電磁シャッター (SH) が開き、観察視野内にスライドプロジェクターで投影されている光景が呈示される。被験者はその光景を視点を自由に移動させながら観察する。この間、跳躍眼球運動が生じるたびに、設定された変位比と変位方向に従って、光景全体が変位する。

観察開始から3秒経過すると、シャッターが自動的に閉じて光景呈示が終了する。被験者はこの観察の間に、光景全体あるいはその一部に、動きや歪みなど、何らかの変化を知覚したかどうか、“Yes”あるいは“No”の二者択一で答える。これで1回の実験試行が終了である。

1回のセッションでは3枚のスライド写真を刺激として用い、それぞれの刺激について順次、光景変位方向の3条件と7段階の変位比条件の試行を無作為な順序で行った。最終的に被験者1人当たり10セッション行うことにより、30枚のスライド写真について測定を行った。結果は各スライド写真に対する結果を合計し、各条件について計30回の試行の結果より知覚確率を求めた。

被験者はKT, MU, TYの20歳代の男性3名であり、皆大学院の学生である。

3. 実験結果

Fig. 3 (a)~(c)に3人の被験者の実験結果を示す。横軸に光景の変位比 k を取り、光景変位の知覚確率を縦軸に取ってプロットした。光景変位方向の3条件を各シンボル (same, ○; opposite, ▲; unfixed, +) によって

示してある。各データ点は合計30回の試行の判断によって求められた知覚確率である。また、Fig. 3 (d)は3人の被験者の平均の結果を示すものであり、曲線はプロビット解析によってそれぞれの結果に回帰した累積正規分布関数である。

まず全体的な傾向を見ると、どの光景変位方向の条件においても、変位比が小さいときには、被験者は光景中に変化をほとんど知覚せず、光景を静止したものとして知覚していることが示されている。例えば、被験者MUでは、変位比が5%、すなわち跳躍の大きさに対して常に5%の変位を光景に与えた場合、それによる光景の変位を検出する確率はどの変位方向の条件においても0.1以下であり、光景の変化がほとんど知覚されなかったことがわかる。光景の変位比を次第に大きくしていくと、光景中に変化を知覚する確率が増していき、結果は右上がりの形状を示している。被験者の内観報告によると、被験者がこのとき知覚している変化は、光景中の対象物の動き、あるいは歪みなどであり、まず光景中の一部分の対象物についてこれらの知覚が生じる。

跳躍の方向に対する光景変位方向の効果に着目してみ

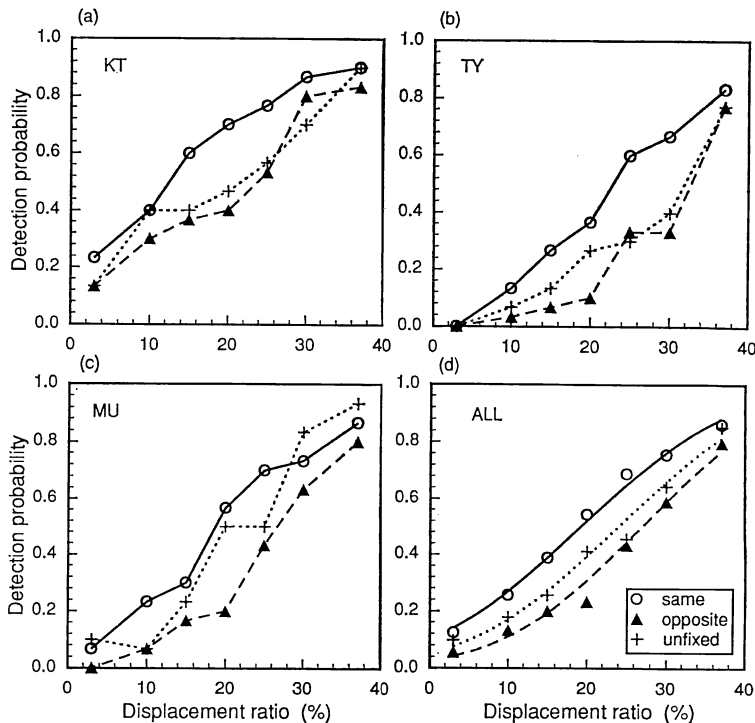


Fig. 3 Detection probabilities of picture displacement as a function of displacement ratio for subjects KT (a), TY (b), MU (c) and mean of all subjects (d). Symbols show three displacement direction: same (○, solid line), opposite (▲, dashed line) and unfixed (+, dotted line).

ると、変位方向の条件によって結果に差が見いだされた。まず、跳躍の方向に対して同方向に光景を変位させた条件 (same) と、逆方向に変位させた条件 (opposite) を比較してみると、逆方向の条件では、同方向の条件に比べて、光景中に動きを知覚する変位比がより大きな値になっていることがわかる。この特徴は3人の被験者の結果に共通して示されている。すなわち、眼球運動の方向と逆の向きに光景が変位した場合の方が、同じ向きに変位した場合よりも、光景の変化を知覚しづらかったことになる。また、跳躍眼球運動の方向に対して光景変位方向が不定となる条件 (unfixed) の結果は、被験者によって差があるが、3人の被験者で平均すると、同方向、逆方向の両条件のちょうど中間的な結果となっている。

Fig. 3 (a)~(c) に示した各被験者の結果に対してプロビット解析を行い、知覚確率が0.5となる変位比を閾値として求めた。その結果を Fig. 4 に示す。3人の被験者について、変位方向の各条件での閾値をプロットしてある。この図より跳躍時の光景変化の検出閾、すなわち位置情報に対する許容度は、跳躍の大きさに対して20%程度であることがわかる。光景の変位方向による差は、光景を跳躍の逆方向に変位させた場合の方が、同方向に変位させた場合に比べて、動きを検出する閾値が大きくなっており、この傾向は全被験者に一致して見いだすことができる。

4. 考 察

被験者がスライド写真による現実の光景を観察するという状況において、跳躍眼球運動時に跳躍の大きさに応じて光景を変位させた場合、変位が跳躍の大きさに対して約20%に達するまでは、被験者は光景中に動きなど

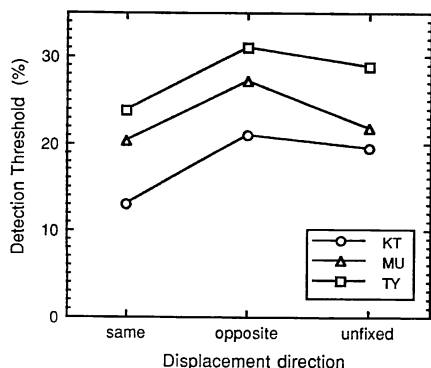


Fig. 4 Detection thresholds of picture displacement plotted for each displacement direction. Symbols show three subjects KT, TY and MU.

の変化を検出せず、光景を静止したものとして知覚することが示された。この結果は、視覚系は、跳躍時の対象物の位置情報に跳躍の大きさに対して20%程度の許容度をもっており、跳躍前後で対象物の位置情報が、ある程度ずれていたとしても、それらを整合的に更新し、安定した視野として統合することが可能であることを意味している。実験中に実験者が跳躍の20%という大きさの光景変位を観察してみると、被験者が眼を動かすたびに、光景が大きく動いているのが容易に見てとれる。このことを考えると、今回の実験で得られた跳躍に対して20%という変位の大きさは、かなり大きな値と言っていだらう。

今回の実験では、跳躍の方向と光景の変位方向との関係についても検討した。その結果、跳躍の方向に対する光景の変位方向によって、変位検出閾値に差が見られ、跳躍と逆方向に光景を変位させた場合の方が、同方向に変位させた場合よりも、閾値は大きくなることが示された。つまり、被験者が視点を移そうとした対象物が、跳躍が完了した時点で近くに変位している方が、遠くに変位しているときよりも、被験者はその変位を検出しづらく、静止したものとして処理したことになる。これは変位の絶対量では同じであっても、変位の方向によってその効果が異なっていることを示している。しかし、この結果は以前の報告^{13,14)}とは一致しないものである。それらの研究では、刺激と跳躍の相対的な変位方向は、変位の検出閾に有意な差を与えないと報告されている。

この結果の違いの要因のひとつとして、それらの研究が線や点よりなる刺激を用いた実験であったのに対して、本研究では現実の光景を刺激とした実験であり、この刺激の違いがあったことが考えられる。人間が実際の光景を認識する際には、その光景内の対象物の空間的な配置関係が、さまざまな視覚的な処理に影響することが知られている。例えば、あるターゲットを探索する際、対象物の空間的な配置関係が保たれている場合の方が、それがくずされている場合よりも、より効率的に探索できることが示されている¹⁸⁾。つまり、視覚系は現実の対象物の空間的な配置関係の情報を有効に利用していると言える。跳躍時に視野の安定性を維持する機構においても、このような情報が有効に活用されているとすれば、現実の光景あるいは単純パターンという刺激の違いによって、結果に差がでる可能性が考えられる。また、現実の光景から情報を獲得しようとする能動的な跳躍眼球運動の場合と、単に固視点間を移動するだけの跳躍眼球運動の場合で、視覚系の情報処理の機能に何らかの違いが

ある可能性も考えられる。例えば、情報獲得を目的とした能動的な跳躍眼球運動を行う際には、情報取入れの有効範囲、あるいは注意が及ぶ範囲が、跳躍の到達点に関して非対称となっているとしたら、今回の結果をうまく説明できるだろう。つまり、跳躍によって視点を移動させる際、目標点より先の方向に情報取入れの精度が高くなっているとすれば、その領域で生じた対象物の変位を検出する確率は、それ以外の領域での変位を検出する確率より高くなるだろう。いずれにしても、現段階ではこれらの考えは推測にすぎない。刺激の変位方向による変位検出閾の差については、刺激、被験者の観察状態の実験条件によって結果に違いがあるのかどうか、さらに研究が必要となる。

ここで、被験者の内観について述べておく。被験者は、光景中に何らかの動きや歪みなどの変化が生じていないかどうか注意して、光景の観察を行った。被験者が“No”と回答したときは、静止した光景として見ていたことになる。変位比が次第に大きくなり閾値付近になると、被験者は光景中の対象物の動きや、形が歪んだような印象を受けるようになる。またこのとき、視野中の光景全体の変位を知覚するのではなく、光景中のある物体や境界線から安定性が崩れていく。特に、背景から明確に区別され目立つ部分について、動きが報告されることが多かった。視野の安定性が、ある対象物やまとまった領域を単位として崩れていく結果は、跳躍前後の視野の統合が、ある程度視覚情報の処理が進んだ段階（対象物の特定など）で行われていることを示唆している。

また、今回、光景を観察していると、船の揺られているような不快感を感じるとの報告もあった。これは眼球運動とそのとき予期される網膜像の変化に常にずれが生じていることによって、他の感覚系にも影響が与えられたことが考えられる。今回の実験の観察時間は3秒間であり、長時間の観察による効果は検討しなかったが、今後の重要な課題の一つである。

跳躍前後の視野統合過程における対象物の位置情報の許容度は、外界を表現している視覚系の内的空間において、対象物の位置がどのくらいの精度で保持、あるいは表現されているのか、ということに関係していると考えられる。まず、視覚系の空間的な情報獲得能力は、視力、色覚などを例にとると、視点に対応した中心部が高く、周辺部では低くなっている。したがって、注視点近傍の対象物については、視覚系は高い精度の位置情報を保持することができるが、注視点から離れた対象物については、あいまいで低い精度の位置情報しか保持できないこ

とになる。すなわち、新たに視点を移動しようとしている対象物について考えると、跳躍前にはその対象物について、視覚系内に高い精度の位置情報は保持されておらず、その対象物の位置情報には、あいまいさが存在するはずである。通常の場合は、跳躍によってその対象物に視点が向けられ精度の高い位置情報が獲得されたとき、それは跳躍前に視覚系が保持していた位置情報のあいまいさの範囲内のはず（おそらくもっとも確からしい位置）であり、跳躍前後の位置情報はなんら矛盾することなく更新されるだろう。

さて、跳躍中に光景が変位する場合はどうだろうか。このとき跳躍後に得られた対象物の位置情報は、光景の変位がなかった場合に比べて少しずれているはずである。ここで視覚系の処理に二つの可能性が考えられる。ひとつは、跳躍前のあいまいな情報から対象物のもっとも確からしい位置を算出し、跳躍後に得られた位置情報と比較して、それらのずれを検知しようとすることである。もうひとつは、跳躍前に保持していた対象物の位置情報のあいまいさの範囲内に、跳躍後に得られた位置情報が収まっていれば、対象物の位置情報を統合的に更新することである。今回の実験の結果をこのような観点から解釈すると、視覚系は後者の処理を採用し、跳躍前後の位置情報の統合的な更新に許容度を持たせ、視野の安定を維持する方向に処理していると考えられる。すなわち、視覚系には、個々の注視から入力される視覚情報にある程度のゆらぎが存在していたとしても、それを許容することによって、全体としての視野の安定性、あるいは恒常性を維持する機構の適応力を高めていると解釈することも可能であろう。

本研究の結果をまとめると、跳躍眼球運動前後の視野統合過程には、対象物の位置情報に関して跳躍の大きさに対して20%程度の許容度が存在していると言えることができる。眼球が動いている間に、光景の位置がある程度変位していたとしても、視覚系はその光景は静止していると解釈するのである。しかし、変位が大きくなると、もはや静止しているとは見なすことができず、光景中に何か動きがあったと解釈される。この限界の値が跳躍の大きさに対して約20%と測定された。さらに、この許容度は固定的なものではなく、眼球運動の方向に対して非対称であることも示唆された。今後は、位置以外の項目に関する視覚情報についても、それらが跳躍眼球運動の前後でどのように処理されているのか解明していき、跳躍時の視野の統合過程について、総合的な検討を行うことが重要となるであろう。

文 献

- 1) F. C. Volkman: "Vision during voluntary saccadic eye movements," *J. Opt. Soc. Am.*, **52** (1962) 571-578.
- 2) F. C. Volkman, A. M. L. Schick and L. A. Riggs: "Time course of visual inhibition during voluntary saccades," *J. Opt. Soc. Am.*, **58** (1968) 562-569.
- 3) F. W. Campbell and R. H. Wurtz: "Saccadic omission: Why we do not see a grey-out during a saccadic eye movement," *Vision Res.*, **18** (1978) 1297-1303.
- 4) T. Ishida and M. Ikeda: "Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-mask replacement technique," *J. Opt. Soc. Am. A*, **6** (1989) 1624-1632.
- 5) E. Holst: "Relations between the central nervous system and the peripheral organs," *Br. J. Anim. Behav.*, **2** (1954) 89-94.
- 6) R. W. Sperry: "Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion," *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **43** (1950) 482-489.
- 7) D. M. MacKay: "Visual stability," *Invest. Ophthalmol.*, **11** (1972) 518-524.
- 8) B. Bridgeman: "Cognitive factors in subjective stabilization of the visual world," *Acta Psychol.*, **48** (1981) 111-121.
- 9) D. E. Irwin, S. Yantis and J. Jonides: "Evidence against visual integration across saccadic eye movements," *Percept. Psychophys.*, **34** (1983) 49-57.
- 10) J. K. O'Regan and A. L. Schoen: "Integrating visual information from successive fixations: Dose trans-saccadic fusion exist?" *Vision Res.*, **23** (1983) 765-768.
- 11) D. E. Irwin, J. S. Brown and J.-S. Sun: "Visual masking and visual integration across saccadic eye movements," *J. Exp. Psychol. Gen.*, **117** (1988) 276-287.
- 12) 石田泰一郎, 篠田博之, 池田光男: "跳躍眼球運動時の等輝度刺激の変位検出閾," *光学*, **22** (1993) 27-32.
- 13) A. Mack: "An investigation of the relationship between eye and retinal image movement in the perception of movement," *Percept. Psychophys.*, **8** (1970) 291-298.
- 14) B. Bridgeman, D. Hendry and L. Stark: "Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movements," *Vision Res.*, **15** (1975) 719-722.
- 15) W. R. Whipple and H. Wallach: "Direction-specific motion thresholds for abnormal image shifts during saccadic eye movement," *Percept. Psychophys.*, **24** (1978) 349-355.
- 16) S. Shioiri and P. Cavanagh: "Saccadic suppression of low-level motion," *Vision Res.*, **20** (1989) 915-928.
- 17) 石田泰一郎, 池田光男: "サックード前後の視野統合可能変位置量," *光学*, **19** (1990) 673-681.
- 18) I. Biederman, A. L. Glass and E. W. Stacy, Jr.: "Searching for objects in real-world scenes," *J. Exp. Psychol.*, **97** (1973) 22-27.